

УДК 519.87

**Т.В. ПОТАНІНА**, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПІ»**ЗАДАЧА ГЕНЕЗИСУ ПРИ РОЗПІЗНАННІ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ  
ОБЛАДНАННЯ ЕНЕРГОБЛОКІВ ТЕС І АЕС**

Актуальною проблемою технічного обслуговування та ремонту енергообладнання є оптимізація організації та проведення даних робіт, що дозволяє отримати ефективний результат при найбільш низьких витратах і збереженню рівня безпеки експлуатації. Представлено модель розв'язання задачі технічного генезису при розпізнанні стану обладнання та систем енергоблоків.

**Ключові слова:** технічне обслуговування, ремонт енергоблоків, технічний стан, енергетичне обладнання, генезис, діагностичні параметри.

**Вступ.** Основним підходом при плануванні та організації ремонтів обладнання енергоблоків атомних (АЕС) і теплових (ТЕС) електричних станцій України до сьогодні залишається система регламентного технічного обслуговування і ремонту (ТОіР), що передбачає виконання таких робіт після завершення визначеного строку або досягнення наробітку на відмову, окреслених у відповідних регламентних документах [1]. Об'єми запланованих робіт при такому підході не обумовлені технічним станом систем і обладнання енергоблоків. Досвід експлуатації енергоблоків АЕС з *реакторами типу ВВЕР* демонструє, що характерними ознаками даного підходу є надмірність об'ємів робіт по технічному обслуговуванню і ремонту (частина обладнання не потребує ремонту), а також не завжди достатній рівень надійності й якості робіт. Так, наприклад, при обслуговуванні за регламентним принципом обладнання роторного типу біля 50% робіт позбавлені необхідності їх здійснення, спостерігається безпідставна заміна вузлів і деталей, що мають значний залишковий ресурс; 70% дефектів (відмов) обладнання є наслідком низької якості робіт по ТОіР, а 40 – 50% відмов електрообладнання енергоблоків в різному ступені пов'язані з помилками персоналу при проведенні ремонтів.

Концепція ремонту обладнання АЕС в залежності від його технічного стану й оцінки ризику відмови широко застосовується в світовій практиці [2]. В випадку з високоякісним обладнанням такий підхід дозволяє суттєво скоротити витрати на ремонтне обслуговування, а також збільшити виробництво електроенергії за рахунок скорочення планових простоїв. В результаті оптимізації стратегії ТОіР з застосуванням оцінок ризику (в тому числі ремонт за технічним станом) на АЕС «South Texas» (США) фактичне зниження прямих витрат щорічно складає від двох до п'яти мільйонів доларів [3].

**Складові процесу технічної діагностики.** Важливим кроком на шляху підвищення рівня надійності і якості робіт по ТОіР може бути оптимізація

процесу розпізнання технічного стану обладнання енергоблоків ТЕС і АЕС під час проведення ремонтних робіт або в підготовчий період, що передуює початку ремонту.

Застосування в процесі експлуатації метода розпізнання стану об'єкта вимагає розв'язання трьох задач: *технічна діагностика* (процес описання стану обладнання в поточний момент часу  $t_H$ ), *технічний прогноз* (процес визначення технічного стану обладнання в майбутньому на скінченному часовому проміжку на момент  $t_D$  з заданою достовірністю) і *технічний генезис* (процес визначення технічного стану об'єкта з певною точністю на заданому в минулому часовому інтервалі). Це вимагає оптимізації множини діагностичних параметрів, діагностичних тестів і програм, методів генезису та метода прогнозування [3].

Названі складові технічної діагностики дозволяють:

- на основі результатів діагностичних досліджень описати технічний стан в поточний момент часу, і тим самим контролювати стан і локалізувати пошкодження;
- виходячи з даних неповної історії результатів діагностичних досліджень, передбачити стан об'єкта дослідження в майбутньому і оцінити час надійного використання обладнання або ефекту роботи, що буде здійсненою цим обладнанням в майбутньому;
- описати стан обладнання в минулому на основі неповних даних перед-історії результатів діагностичних досліджень.

**Основні задачі технічного генезису.** Стан обладнання  $S(t_k)$  в момент  $t_k$  можна охарактеризувати за допомогою множини значень діагностичних параметрів  $\{y_j(t), j = \overline{1, m}\}$ . Обладнання в момент  $t_H$  знаходиться в працездатному стані  $S^0$  за таких умов:

$$S(t_H) = S^0 \Leftrightarrow \left[ \{y_j^*\} \leq \{y_j(t_H)\} \leq \{y_j^{**}\} \right] \forall j \in \overline{1, m}, \quad (1)$$

де  $\{y_j^*\}$  і  $\{y_j^{**}\}$  – множини нижніх і верхніх граничних значень параметрів.

Аналогічно можна сформулювати умову того, що стан обладнання в момент  $t_H + \tau_1$  працездатний (*задача прогнозування*):

$$S(t_H + \tau_1) = S^0 \Leftrightarrow \left[ \{y_j^*\} \leq \{y_j(t_H + \tau_1)\} \leq \{y_j^{**}\} \right] \forall j \in \overline{1, m}, \quad (2)$$

причому елементи множини  $\{y_j(t_H + \tau_1)\}$  невідомі, і тому необхідно їхнє прогнозування на заданому інтервалі  $\tau_1$  (*горизонт прогнозу*). Оцінку часу переходу обладнання в непрацездатний стан визначають результати прогнозів діагностичних параметрів  $\{y_j(t_H + \tau_1)\}$ , що сигналізують про порушення обмежень (2).

Умова працездатного стану обладнання в момент  $t_H - \tau_2$  (задача генезису стану):

$$S(t_H - \tau_2) = S^0 \Leftrightarrow \left[ \{y_j^*\} \leq \{y_j(t_H - \tau_2)\} \leq \{y_j^{**}\} \right] \forall j \in \overline{1, m}, \quad (3)$$

причому серед деяких значень елементів множини  $\{y_j(t_H - \tau_2)\}$  можливі невідомі й необхідно їхнє прогнозування на заданому проміжку часу  $\tau_2$ . Величина  $\tau_2$  – *горизонт генезису* – проміжок часу, для якого здійснюється процес технічного генезису. В термінах генезису стан обладнання або об'єм виконаної цим обладнанням роботи визначають результати генезису значень діагностичних параметрів  $\{y_j(t_H - \tau_2)\}$ .

Перелічимо основні задачі, які виникають при розв'язанні проблеми генезису стану обладнання:

- визначення мети генезису стану обладнання;
- зміни стану обладнання в процесі експлуатації;
- опис стану обладнання за допомогою характеристик стану й залежності між характеристиками стану та діагностичними параметрами;
- розв'язання задачі технічного генезису.

В процесі розв'язання таких завдань виникають труднощі наступного характеру:

- вибір «оптимальних» діагностичних параметрів, що описують стан в поточний момент, і їх зміни в процесі експлуатації;
- визначення за допомогою «оптимального» метода технічного генезису генетичного значення діагностичного параметра  $y_{jG}(t_H - \tau_2)$  для горизонту генезису  $\tau_2$ ;
- оцінка стану обладнання за допомогою опису причин ушкодження (відмови), що виникло.

Поняття «оптимальних» діагностичних параметрів зв'язано з прийняттям відповідних критеріїв і розглядом завдань в категоріях відшукування оптимального розв'язку; в той же час, через наявність більш ніж одного критерію оцінки, слід розглядати дану задачу як багатокритеріальну.

Вибір метода розв'язання задачі технічного генезису залежить від об'єкту, який є предметом дослідження, а також від мети генезису стану обладнання енергоблоку. При виборі метода генезису слід керуватися або критерієм, щодо вигляду генезису (генетичне значення симптому, ідентифікація стану обладнання у минулому, ефект роботи, виконаної цим обладнанням в минулому, тощо) або ефектом впливу змін умов експлуатації обладнання і видів обслуговування на експлуатаційні можливості обладнання, котрі слід враховувати. В процесі генезису стану здійснюються наступні дії:

- аналіз процесу погіршення технічного стану обладнання, тобто описання тенденції й динаміки змін значень параметрів стану, вибір станів, в

котрих могло знаходитися обладнання, декомпозиція системи обладнання, критерії вибору станів і ймовірність їх реалізації, вибір «оптимальних» діагностичних параметрів, що описують зміни стану обладнання;

- вибір «оптимального» метода визначення генезису;
- застосування інформації, отриманої при генезисі, для аналізу причин реалізації стану енергоблоку в момент дослідження.

Таким чином, генезис стану обладнання є окресленням (при неповних або нечітких даних значеннях діагностичних параметрів) тренда змін значень діагностичних параметрів, що характеризують процес його погіршення в минулому, коли тимчасові значення діагностичних параметрів прирівняні до граничних значень, і на цій основі оцінці часу безвідмовної роботи обладнання в проміжку часу в минулому. Можна також його застосовувати для аналізу причин пошкодження, що виникло і було розпізнане в момент дослідження.

**Алгоритм проведення процедури генезису технічного стану енергообладнання.** Опишемо етапи розробленого алгоритму.

1. Нехай подія погіршення технічного стану систем обладнання енергоблоку представлено часовим рядом  $y_t = \langle y_1, y_2, \dots, y_N \rangle$ , інакше множиною дискретних спостережень  $\{y_t = \varphi(t); t = t_1, t_2, \dots, t_N\}$  нестационарного стохастичного процесу  $\varphi(t)$ .

2. За умови, що механізм змін значень стохастичного процесу в часі  $t \in (t_1, t_N)$  формує тренд  $\mu(t)$ , а  $\eta(t)$  – шум різноманітних випадкових впливів:

$$y_t = \mu(t) + \eta(t), \quad (4)$$

де  $\mu(t)$  – детермінована складова часового ряду  $y_t$ ;  $\eta(t)$  – тренд випадкових впливів (кліматичні умови, якість обслуговування та ін.).

Будується також оцінка  $\{\tilde{\mu}(t)\}$  для невідомого тренда  $\mu(t)$ , яка забезпечує відповідну точність генезису  $y_G(t)$  при інтерполяції (апроксимації)  $\mu(t)$  на проміжок часу роботи обладнання  $(t_N, t_G)$ , де  $t_G = t_N - \tau_2$ .

3. Оцінка  $\mu_G(t)$  визначає в такому випадку значення параметрів, що спостерігаються в генетичний момент  $t_G$ , і генезис технічного стану енергоблоку  $W(t_G)$ .

4. Припустимим станом  $W_{\text{доп}}$  експлуатації енергоблоку в проміжку часу  $(t_N, t_G)$  є такий, для якого межі інтервалу похибки для окремих генезисів  $\sigma(y_t, y_G, G(y_t, \tau))$ , заданих на підмножині  $\Omega^y \subset \Omega$  наявних реалізацій діагностичних параметрів  $\{y_j(t)\}$ , що спостерігаються, і їх генетик  $\{y_{jG}\}$ , згідно

прийнятого метода генезису  $G(y_i, \tau)$ , не перетинають граничних значень  $\{y_j^{**}\}$  (рисунок).

5. Припустимий технічний стан  $W_{\text{доп}}$  енергоблоку визначає горизонт генезису  $\tau_j^0$ , для якого граничні значення діагностичного параметра  $\{y_j^{**}\}$  не є вищими за межу інтервалу похибки генезису, визначеної радіусом довірчого інтервалу похибки  $r_G$ :

$$r_G = t_{\alpha, K} \cdot \sigma_G, \quad (5)$$

де  $t_{\alpha, K}$  –  $\alpha$  – квантиль розподілу Ст'юдента, для рівня значущості  $\alpha$  і з  $(K-1)$  степенями свободи;  $\sigma_G$  – стандартне відхилення випадкової похибки генезису  $e_G$ .

6. В випадку профілактичного обслуговування необхідною формою генезису енергообладнання або його систем є інформація про те, чи був технічний стан припустимим  $W_{\text{доп}}$  протягом часу  $(t_1, t_H)$ . Пропонується додатковими величинами генезису стану обладнання вважати очікуване значення та радіус довірчого інтервалу похибки генезису.

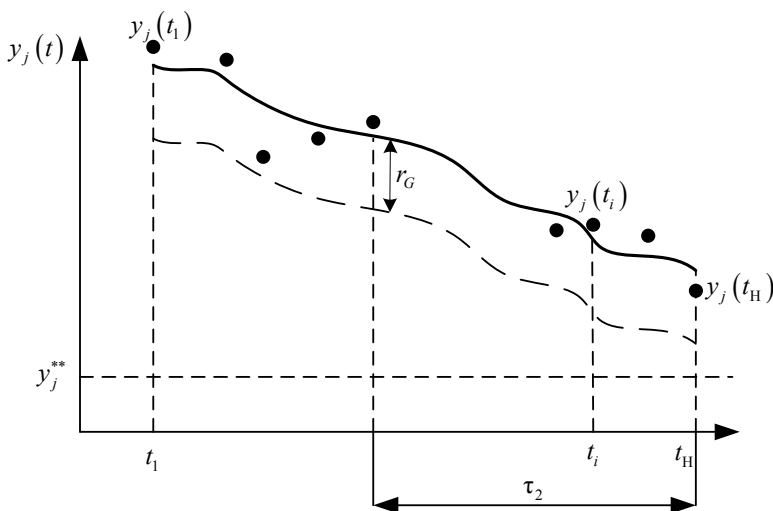


Рисунок – Розподіл діагностичних параметрів та їх генетик.

Проміжок часу  $(t_1, t_H)$  – це інтервал оцінки очікуваного значення похибки генезису  $e_G$  і ширини інтервалу похибки генезису  $r_G$ , а проміжок  $t_H - \tau_2$  – інтервал активного генезису, тобто визначення наступних величин:

- генетичного значення параметра  $y_{jG}(t_H - \tau_2)$  для часу горизонту генезису  $\tau_2$ ;
- величини ширини інтервалу похибки генезису  $r_G(t_H - \tau_2)$ ;
- можливого часу  $\{t_G\}$  переходу обладнання в непрацездатний стан.

Припускаючи можливість неперервної або дискретної реєстрації подій (значення діагностичних параметрів  $y_j$ , значення параметрів процесу, параметри зовнішніх впливів, станів енергоблоку, а також додаткових подій), утворюється база інформації у вигляді *матриці інформації*, що об'єднує значення параметрів подій, стану обладнання, час експлуатації.

**Висновки.** Розв'язання задачі технічного генезису на основі даних діагностичних тестів дає можливість встановити причини дефекту обладнання, що спостерігається під час дослідження, а також проаналізувати причини наявної тенденції погіршення параметрів, що визначають безпеку експлуатації, зменшити кількість помилок при ремонті та обслуговуванні.

**Список літератури:** 1. КНД 95.1.0801.55-2004. Руководящий нормативный документ «Организация технического обслуживания и ремонта систем и оборудования атомных электростанций. Основные положения». – К., 2004. 2. Оптимизация плановых ремонтов энергоблоков атомных электростанций с ВВЭР / под ред. В.И. Скалозубова. – Чернобыль: Ин-т проблем безопасности АЭС, 2008. – 496 с. 3. Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety: Steam generators. – IAEA-TECDOC-981. – IAEA, Vienna. – 1997. – 173 p. 4. Tylicki Henryk Algorytm rozpoznawania stanu maszyn / Henryk Tylicki // MOTROL. – v. 9. – 2007. – P. 184-192.

*Надійшла до редколегії 26.10.2013*

---

УДК 519.87

**Задача генезису при розпізнанні технічного стану обладнання енергоблоків ТЕС і АЕС / Т. В. Потаніна** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – №54 (1027). – С. 179 – 184. Бібліогр.: 4 назви.

Актуальною проблемою технічного обслуговування і ремонту енергооборудовання являється оптимізація організації і проведення даних робіт, що дозволяє отримати ефективний результат при найменших затратах і збереженні рівня безпеки експлуатації. Представлена модель рішення задачі технічного генезису при розпізнанні стану обладнання і систем енергоблоків.

**Ключевые слова:** технічне обслуговування, ремонт енергоблоків, технічний стан, енергетичне обладнання, генезис, діагностичні параметри.

Actual problem of maintenance service and repair of the power equipment is optimization of the organization and carrying out of the given works that allows receiving effective result at the lowest expenses and preservation of a level of safety of operation. In article the model of the technical genesis problem decision is submitted at recognition of the power units' equipment condition.

**Key words:** maintenance service, repair of power units, technical state, genesis, diagnostic parameters.